

Lund 1970

KÄRN-KÄRN KOLLISIONER I ENERGIOMRÅDET

$100 \lesssim E \lesssim 500$ MeV/nucleon

AVHANDLING FÖR DOKTORSEXAMEN

AVHANDLINGEN KOMMER ATT FÖRSVARAS VID EN
OFFENTLIG DISPUTATION I FYSISKA INSTITUTIONENS
FÖRELÄSNINGSSAL B FREDAGEN DEN 19 FEBRUARI
1971 KL 10.15

AV

ROLAND RESMAN

FIL. LIC., BL



KÄRN-KÄRN KOLLISIONER

I ENERGIOMRÅDET $100 \lesssim E \lesssim 500$ MeV/nucleon

AVHANDLING FÖR DOKTORSEXAMEN

AVHANDLINGEN KOMMER ATT FÖRSVARAS

VID EN OFFENTLIG DISPUTATION

I FYSISKA INSTITUTIONENS FÖRELÄSNINGSSAL B

FREDAGEN DEN 19 FEBRUARI 1971 KL 10.15

AV

ROLAND RESMAN

FIL. LIC., BL

THE UNIVERSITY OF LEIDEN
LIBRARY

UNIVERSITY OF LEIDEN

UNIVERSITY OF LEIDEN
LIBRARY
UNIVERSITY OF LEIDEN
LIBRARY



UNIVERSITY OF LEIDEN
LIBRARY

Kärn-kärn kollisioner i energiområdet $100 \lesssim E \lesssim 500$ MeV/nukleon.

Studiet av reaktioner mellan elementarpartiklar och atomkärnor har möjliggjorts genom utvecklingen av acceleratorer. Vid dessa har det också varit möjligt att studera kollisioner mellan tyngre kärnor genom acceleration av joner. De accelerationsenergier, som man därvid kan uppnå, är relativt blygsamma, några tiotal MeV/nukleon för joner av storleksordningen kol, kväve och syre. För att kunna studera kollisioner mellan atomkärnor vid högre energier måste man därför använda atomkärnorna i den kosmiska strålningen som projektilpartiklar. Ett flertal sådana undersökningar har gjorts i fotografiska kärnemulsioner, och man har därvid studerat kollisioner vid relativistiska energier $[1,2]$. Dessa arbeten visar, att en relativistisk kärn-kärn kollision approximativt kan beskrivas som en överlagring av oberoende nukleon-kärn kollisioner.

Studier av kärn-kärn kollisioner i energiintervallet $100 < E < 500$ MeV/nukleon har ej tidigare rapporterats. Studiet av sådana kollisioner kan ge information om sönderdelningen av de inblandade kärnorna, och detta är av stort intresse vid undersökningar av den kosmiska strålningens sammansättning. De kollisioner, som sker mellan kosmiska primärkärnor och kärnor i atmosfärens översta skikt, förändrar nämligen strålningens sammansättning, innan partiklarna når detektorn. Även kärnfysikaliska problem av stort intresse kan studeras vid sådana kärn-kärn kollisioner, t.ex. emission av högenergetiska heliumfragment från targetkärnan. Sådana händelser har studerats vid undersökningar, där protoner och alfapartiklar skjutits mot tyngre kärnor $[3-6]$. I kärn-kärn kollisioner bör ett stort

antal sådana heliumfragment produceras både från projektil och target. Jämförelse mellan proton-kärn och kärn-kärn kollisioner kan vidare ge upplysningar om kollisionsmekanismen.

Med utgångspunkt från reaktionsmekanismen i proton-kärn kollisioner och relativistiska kärn-kärn kollisioner kan man tänka sig, att händelseförloppet i icke-relativistiska kärn-kärn kollisioner i huvudsak består av två steg. Det första steget, som betecknas kaskadsteget, finns beskrivet i åtskilliga arbeten [7-10] Det andra steget, evaporationssteget, redogöres för bl.a. i [11-14] .

En icke-relativistisk kärn-kärn kollision kan beskrivas med hjälp av följande schematiska modell. Den inkommande kärnan, vars energi $E \approx 100$ MeV/nukleon, kolliderar med targetkärnan. Nukleoner i de överlappande delarna av kärnorna kolliderar med varandra. Flertalet nukleoner, som kolliderat, rör sig i framåtriktningen. En del nukleoner kolliderar mer än en gång, innan de emitteras. Nukleonkaskader utvecklas i de båda kärnorna. Det finns skäl att antaga, att antalet sekundärkollisioner är avsevärt mindre vid några hundra MeV/nukleon än vid relativistiska energier. Från projektilenergier över ett par hundra MeV/nukleon kan pioner produceras vid nukleon-nukleon kollisioner i kärnorna. Någon egentlig mesonskur kan dock ej utvecklas vid projektilenergier under 500 MeV/nukleon. Under det första steget utvecklas alltså nukleonkaskader i såväl targetkärnan som projektilkärnan.

En del kaskadnukleoner reabsorberas, varvid en relativt liten energimängd överföres till restfragmenten. De exciterade fragmenten deexciteras genom att sända ut lågenergetiska partiklar, främst protoner och alfapartiklar, som fördelar sig isotropt i det exciterade fragmentets tyngdpunktssystem. På grund av projektilfragmentens hastighet i framåtriktningen får de partiklar, som emitterats från dessa fragment, höga energier

och blir starkt kollimerade i framåtriktningen. Partiklar emitterade från targetfragmenten får däremot en nästan isotrop vinkelfördelning. Avvikelsen beror på att targetfragmentet erhållit en viss rekylhastighet vid kollisionen.

Avhandlingen omfattar följande två arbeten:

- I. A study of nucleus-nucleus collisions in the hundreds of MeV region.

(Tillsammans med I. Otterlund).

Arkiv Fysik 39, 265 (1969).

- II. The disintegration of the nuclei in nucleus-nucleus collisions at $100 \lesssim E \lesssim 500$ MeV/nucleon.

Cosmic Ray Physics Report KS 7008.

Arbetena är baserade på studiet av 80 kärn-kärnkollisioner. Dessa har erhållits genom exponering av fotografiska kärnemulsioner i den kosmiska strålningen. Projektilkärnornas laddning ligger i intervallet $3 \leq Z \leq 26$.

Targetkärnorna består av en blandning av tunga (Ag, Br) och lätta (H, C, N, O) emulsionskärnor. Projektilkärnornas energier ligger i intervallet $100 \lesssim E \lesssim 500$ MeV/nukleon.

I det första arbetet (I) görs jämförelser mellan kaskadpartiklar från kärn-kärn och proton-kärn kollisioner. De erhållna resultaten tyder på att de nukleonkaskader, som utvecklats i en kärn-kärn kollision, kan betraktas som en överlagring av sådana nukleonkaskader, som utvecklats i en proton-kärn kollision. Energi och vinkelfördelningar för alfapartiklar med energier > 14 MeV har noggrant studerats. Vinkelfördelningen för de alfa-partiklar, som emitterats från targetkärnorna, är anisotrop, och energifördelningen har en lång svans i

Digitized by the Internet Archive
in 2026

det högenergetiska området. Vinkel- och energifördelningen för alfa-partiklar, som emitterats från projektilkärnorna, ger vid handen, att en del av dem ej kan förklaras, om man antar, att de emitterats i en evaporationsprocess. Den slutsats man kan dra är, att i kärn-kärn kollisioner emitteras alfapartiklar delvis genom evaporation från exciterade fragment och delvis genom direkta kollisioner mellan nukleoner och anhopningar av nukleoner (klusters). De emitterade alfapartiklarna ger stora spridningar både vad gäller partiklarnas energi och emissionsriktning. Detta kan förstås genom de Fermienergier, som nukleonerna och nukleonanhopningarna har inuti de växelverkande kärnorna.

Det andra arbetet (II) behandlar sönderdelningen av projektil- och targetkärnor. Två metoder att uppskatta antalet enkelladdade partiklar, som emitterats från projektilkärnorna, beskrivs. Resultaten visar, att projektil- och targetkärnorna sönderdelas mindre i icke-relativistiska än i relativistiska kärn-kärn kollisioner. Sönderdelningen av targetkärnorna visar sig vara oberoende av projektilkärnans storlek. Frekvensen av antalet spår kortare än $100\ \mu\text{m}$, som emitterats i icke-relativistiska kollisioner, är större i kärn-kärn än i proton-kärn-kollisioner vid samma energi per nukleon. De svarta spårens impuls- och energifördelningar har jämförts med fördelningar, som beskrivs av evaporationsteorin. Jämförelserna visar, dels att det existerar en inblandning av kaskadpartiklar bland de svarta spåren, och dels att en del korta spår inte kan förklaras utifrån den använda teorin. En övre gräns för rekylhastigheten, β , hos den exciterade targetkärnan har bestämts till $\beta = 0.025$.

Till professor Sten von Friesen vill jag framföra ett hjärtligt tack för det stöd han givit mig och det stora intres-

se han har visat under detta arbetes tillkomst. Docent Krister Kristiansson vill jag varmt tacka för alla värdefulla råd och uppmuntrande diskussioner. Till min handledare och medförfattare Docent Ingvar Otterlund riktar jag ett varmt tack för otaliga lärrika och stimulerande diskussioner samt för utomordentlig vägledning. Till fröken Birgit Lindkvist vill jag framföra ett hjärtligt tack för den utmärkta framkallningen av kärnemulsionerna och för allt utfört mikroskoperingsarbete i dessa. Jag vill slutligen varmt tacka alla mina kollegor på avdelningen för Kosmisk Högenergifysik för gott kamratskap och gott samarbete.

Referenser.

1. Andersson, B., Otterlund, I., och Kristiansson, K.,
Arkiv Fysik 31, 527, (1966).
2. Otterlund, I.,
Arkiv Fysik 38, 467 (1968).
3. Ostroumov, V.J., Perfilov, N.A., och Filov, R.A.,
Soviet Phys. JETP 12, 77 (1960).
4. Zdanov, A.P., och Fedotov, P.I.,
Soviet Phys. JETP, 16, 590 (1963).
5. Dubost, H., Lefort, M., Peter, J. och Tarrago, X.,
Phys. Rev. 136B, 1618 (1964).
6. Igo, G., Hansen, L.F., och Gooding, T.J.,
Phys. Rev. 131, 337 (1963).
7. Serber, R.,
Phys. Rev. 72, 1114 (1947).
8. Goldberger, M.L.,
Phys. Rev. 74, 1269 (1948).
9. Metropolis, N., Bivins, R., Storm, M., Turkevich, R.,
Miller, J.M., och Friedlander, G.,
Phys. Rev. 110, 185 (1958).
10. Bertini, H.W.,
Phys. Rev. 131, 1801 (1963).
11. Weisskopf, V.,
Phys. Rev. 52, 295 (1937).

12. Le Couteur, K.J.,

Proc. Phys. Soc. A63, 159 (1950); A65, 718 (1952).

13. Fujimoto, V., och Yamaguchi, Y.,

Progr. Theor. Phys. (Japan) 4, 468 (1949);

5, 787 (1950).

14. Dostrovsky, I., Rabinowitz, P., och Bivins, R.,

Phys. Rev. 111, 1659 (1958).

